

Efeito do alumínio no crescimento e na absorção de nutrientes em plantas jovens de pinhão-manso.

Leonardo Walter Milani Pinto⁽¹⁾; Diogo Luiz Vidal de Paula⁽¹⁾; Caio José Fantinelli⁽¹⁾; Felipe Otávio Brito Pavan⁽¹⁾; Rafael Aparecido Torue Bonetti⁽¹⁾; Fábio Steiner⁽²⁾.

⁽¹⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia das Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO. Ourinhos, São Paulo. E-mail: lwilani@hotmail.com. ⁽²⁾ Professor do Curso de Agronomia das Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO. Ourinhos, São Paulo. E-mail: fsteiner_agro@yahoo.com.br.

RESUMO: A toxicidade de alumínio (Al^{3+}) é um dos principais fatores que limitam a produtividade das culturas em solos ácidos. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do alumínio no crescimento e na absorção e distribuição do fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) em plantas jovens de pinhão-manso, cultivadas em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em vasos de 2,5 L e as plantas crescidas em casa de vegetação. Após 14 dias de adaptação em solução nutritiva, as plantas foram submetidas a concentrações de Al de: 0; 370; 740; 1.110 e 1.480 $\mu mol L^{-1}$, que corresponderam a atividade de Al^{3+} em solução de: 13,3; 35,3; 90,0; 153,3 e 220,7 $\mu mol L^{-1}$ de Al^{3+} , respectivamente. A partição de matéria seca entre raízes, caule e folhas e os teores de P, Ca, Mg e Al no tecido vegetal foi avaliada após 75 dias de exposição ao Al. O aumento da atividade de Al^{3+} em solução diminuiu progressivamente o crescimento da parte aérea e das raízes das plantas de pinhão-manso, sendo que nas duas maiores atividades de Al^{3+} as plantas apresentaram anormalidades morfológicas típicas de injúria provocada por esse metal. O aumento da atividade de Al^{3+} reduziu os teores de P nas folhas e de Ca e Mg nas folhas e raízes do pinhão-manso reportando o efeito do Al na absorção, transporte e utilização destes nutrientes pelas plantas. O Al acumulou-se, preferencialmente, no sistema radicular do pinhão-manso, sendo pequena a quantidade transportada para a parte aérea.

Termos de indexação: *Jatropha curcas*, toxicidade de alumínio, tolerância ao alumínio.

INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta perene, pertencente à família Euphorbiaceae e encontra-se distribuída nas zonas áridas e semi-áridas da América do Sul e em todas as regiões tropicais. Nos últimos anos, esta cultura tem recebido uma grande atenção devido ao elevado teor de óleo na semente, que pode ser utilizado na produção de biodiesel (Arruda et al., 2004).

Esta espécie é relatada como planta rústica, que cresce em áreas com climas extremos e condições de solo com baixa fertilidade natural (Arruda et al.,

2004). Porém, para se obter bom desenvolvimento e alta produtividade, a planta exige solos férteis, com boas condições físicas e hídricas. Assim, a correção da acidez e da fertilidade do solo é fundamental para se obter sucesso e lucratividade com a cultura (Laviola & Dias, 2008). Esta constatação torna-se, ainda, mais relevante em decorrência das principais regiões produtoras de pinhão-manso no Brasil encontrarem-se localizadas em solos ácidos, caracterizados por baixa saturação por bases e teores elevados de alumínio (Al^{3+}), suficientes para alterar o crescimento normal de muitas espécies de plantas cultivadas.

Até o momento, pouco se conhece sobre os efeitos da presença de Al no solo no crescimento e na nutrição de plantas de pinhão manso. Em solos ácidos, com pH abaixo de 4,5 as raízes não se desenvolvem, sendo necessário à realização da correção da acidez do solo (Arruda et al., 2004).

Diversos estudos têm sido realizados usando-se solução nutritiva com o intuito de determinar a tolerância de espécies perenes ao Al. A toxicidade provocada pelo Al manifesta-se, inicialmente, pela redução da taxa de alongação radicular após o contato com a solução contendo Al e drástica redução no crescimento da parte aérea. As anomalias e os danos causados ao sistema radicular resultam em exploração de menor volume de solo pelas plantas e em prejuízos na absorção de nutrientes e no aproveitamento da água do solo. Resultados de pesquisas têm demonstrado que Al^{3+} no meio de crescimento influencia a absorção de elementos essenciais, como fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (López-Bucio et al., 2000).

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do Al no crescimento e na absorção e distribuição do P, Ca, Mg e Al em plantas jovens de pinhão-manso, cultivadas em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), coletadas diretamente da copa de uma população de plantas no município de Marechal Cândido Rondon (PR), foram colocadas para germinar em bandejas plásticas (42 x 28 x 6 cm), contendo areia

lavada, as quais foram diariamente irrigadas com água destilada até a queda dos cotilédones (12 dias após a semeadura). Posteriormente, as plântulas foram selecionadas quanto à homogeneidade do comprimento da raiz primária ($10,0 \pm 1,2$ cm) e da altura da parte aérea ($18,0 \pm 1,6$ cm) e transferidas para vasos plásticos com capacidade para 2,5 L, contendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon modificada, apresentando a seguinte concentração: macronutrientes (mmol L^{-1}) $\text{N-NO}_3 = 7,5$; $\text{H}_2\text{PO}_4 = 0,3$; $\text{K} = 2,8$; $\text{Ca} = 2,5$; $\text{Mg} = 1,0$ e $\text{SO}_4 = 1,0$ e micronutrientes ($\mu\text{mol L}^{-1}$): $\text{B} = 23,0$; $\text{Cu} = 0,2$; $\text{Fe-EDTA} = 45,0$; $\text{Mn} = 6,3$; $\text{Zn} = 0,6$ e $\text{Mo} = 0,1$ com ajuste do pH para 6,0. As plantas permaneceram em solução nutritiva por duas semanas com diluição de $\frac{1}{4}$ na primeira semana e $\frac{1}{2}$ na segunda semana.

Após este período de adaptação, as plantas foram submetidas a concentrações de Al de: 0; 370; 740; 1.110 e 1.480 $\mu\text{mol L}^{-1}$, que corresponderam a atividade de Al^{3+} em solução, estimadas pelo software Visual MINTEQ 3.0 (Gustafsson, 2012) de: 13,3; 35,3; 90,0; 153,3 e 220,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Al^{3+} , respectivamente. O Al foi adicionada na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. O pH da solução ($4,1 \pm 0,1$) foi monitorado a cada dois dias e ajustado, quando necessário, utilizando-se $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ou $\text{HCl } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$. As plantas foram mantidas sob arejamento intermitente e a solução nutritiva trocada a cada 21 dias. Os vasos foram envolvidos externamente com papel alumínio, para evitar a passagem de luminosidade e inibir o desenvolvimento de algas. Cada unidade experimental consistiu de um vaso contendo uma planta, dispostos no delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições.

Após o período de 75 dias, as plantas foram retiradas da solução nutritiva e divididas em folhas, caules e raízes. Procedeu-se, então, a mensuração do número de folhas por planta; altura de planta; área foliar e comprimento da raiz principal. Em seguida, as amostras de folhas, caules e raízes foram secas em estufa de circulação forçada de ar a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ por 72 h, pesadas e moídas. Os teores de P, Ca e Mg foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica após digestão ácida úmida, como descrito em Malavolta et al. (1997). O teor de Al foi determinado por Espectrofotometria com Eriocromo cianina R, conforme descrito por Miyazawa et al. (1999). A quantidade de Al acumulada nas folhas, caules e raízes foi calculada a partir da quantidade de matéria seca produzida em cada parte da planta e do respectivo teor de Al na matéria seca.

Os dados foram submetidos à análise de regressão utilizando-se o software estatístico SigmaPlot 11.0. O ajuste das equações de regressão foi realizado escolhendo-se o modelo

matemático com maior valor de coeficiente de determinação, significativos a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento da parte aérea das plantas de pinhão-mansão foi afetado negativamente pela presença do Al (**Figura 1**). O aumento da atividade de Al^{3+} em solução reduziu linearmente o número de folhas por planta, altura de planta, área foliar e a produção de matéria seca. O menor crescimento da parte aérea das plantas de pinhão-mansão com o aumento da atividade de Al^{3+} em solução refletiu o efeito fitotóxico desse metal no desenvolvimento da planta. De acordo com Sivaguru & Paliwal (1993), dentre os efeitos causados na parte aérea pela toxicidade do Al está à redução da altura e da produção de matéria seca das plantas.

O comprimento da raiz principal e o acúmulo de matéria seca das raízes de pinhão-mansão diminuíram progressivamente com o aumento da atividade de Al^{3+} em solução (**Figura 2**). Quando as plantas foram expostas a atividade de 153,3 e 220,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Al^{3+} praticamente não houve crescimento das raízes (**Figura 2**). O percentual de redução para o comprimento da raiz principal e matéria seca das raízes foi de 74 e 57%, respectivamente, ao se comparar o crescimento das plantas expostas a atividade de 13,3 e 220,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Al^{3+} . De acordo com Sivaguru & Paliwal (1993), um dos principais efeitos do Al consiste na inibição do crescimento das raízes, que se tornam curtas e grossas. Essa característica, por sinal, serve como o melhor indicador para se avaliar o nível de tolerância ao Al, em solução nutritiva, para as espécies.

As plantas expostas às maiores atividades de Al^{3+} (153,3 e 220,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$) apresentaram sintomas característicos de toxidez por Al. As folhas jovens eram menores, cloróticas, com pequenos pontos necróticos na margem e com aspecto típico de enrolamento. Por sua vez, as folhas velhas apresentaram clorose marginal, a qual progrediu para o centro do limbo. Nas raízes, os sintomas de toxidez de Al foram bastante evidentes, manifestando-se pelo retardamento e, ou inibição no alongamento do eixo principal, engrossamento das pontas das raízes, redução no número de raízes laterais e amarelecimento das raízes.

O teor de P nas raízes de pinhão-mansão não foi afetado pela presença de Al (**Tabela 1**). O maior teor de P obtido nas raízes deve-se ao fato do Al precipitar-se com o P no apoplasto radicular, reduzindo a translocação para a parte aérea.

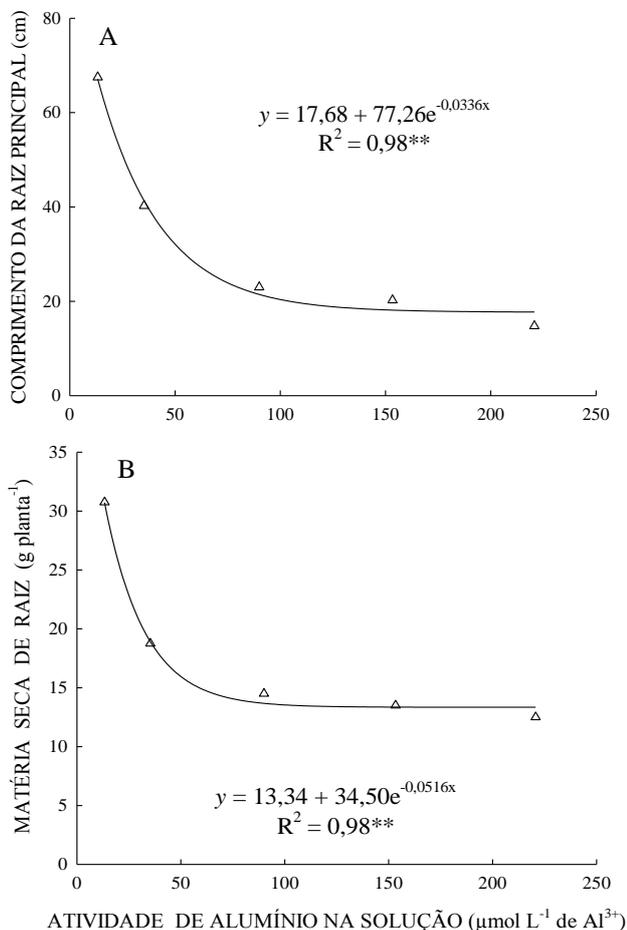


Figura 2. Comprimento da raiz principal – (A) e matéria seca de raiz – (B) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da atividade de Al³⁺ na solução nutritiva.

O aumento da atividade de Al³⁺ em solução reduziu os teores de Ca e Mg nas folhas e nas raízes do pinhão-mansó (**Tabela 1**). Houve uma redução média nos teores de Ca e Mg de 33 e 39% nas folhas e de 42 e 37% nas raízes, respectivamente, ao se comparar as plantas expostas a atividade de 13,3 e 220,7 μmol L⁻¹. O menor teor de Ca e Mg na presença de Al deve-se ao fato de ambos os íons competirem pelo mesmo sítio do carregador ativo no processo de absorção, ocorrendo inibição competitiva do Al com o Ca e Mg (Malavolta et al., 1997).

Os teores de Al foram maiores nas raízes, seguidos por folhas e caules (**Tabela 2**). O aumento da atividade de Al³⁺ em solução elevou os teores deste metal nas folhas, caules e raízes das plantas de pinhão-mansó. O acúmulo de Al nas folhas, caules e raízes de pinhão-mansó foram semelhantes em todos os tratamentos que houve a adição de Al em solução nutritiva, diferindo-se

estatisticamente apenas do tratamento sem adição do metal.

O Al acumulou-se, preferencialmente, no sistema radicular das plantas de pinhão-mansó (**Tabela 2**). Em média, apenas 8,3% do total de Al acumulado pelas plantas foram transportados para a parte aérea – transporte a longa distância. Esta constatação justifica os efeitos deletérios desse metal no crescimento das raízes do pinhão-mansó reportado no presente estudo.

CONCLUSÕES

O aumento da atividade de Al³⁺ em solução diminuiu progressivamente o crescimento da parte aérea e das raízes das plantas de pinhão-mansó, sendo que nas duas maiores atividades de Al³⁺ as plantas apresentaram anormalidades morfológicas típicas de injúria provocada por esse metal.

O aumento da atividade de Al³⁺ reduziu os teores de P nas folhas e de Ca e Mg nas folhas e raízes do pinhão-mansó reportando o efeito do Al na absorção, transporte e utilização destes nutrientes pelas plantas.

O Al acumulou-se, preferencialmente, no sistema radicular do pinhão-mansó, sendo pequena a quantidade transportada para a parte aérea.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E. & SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, 8:789-799, 2004.
- GUSTAFSSON, J.P. Visual MINTEQ: version 3.0. Online. 2012. Disponível em: <<http://www.lwr.kth.se/English/OurSoftware/Vminteq>>. Acesso em: 10 Dez 2012.
- LAVIOLA, B.G. & DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansó. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1969-1975, 2008.
- LÓPEZ-BUCIO, L.; NIETO-JACOBO, M.F.; RAMIREZ-RODRIGUES, V. & HERRERA-ESTELLA, L. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*, 160:1-13, 2000.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MURAOKA, T.; CARMO, C.A.F.S. & MELLO, W.J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 1999, 370p.
- SIVAGURU, M. & PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars. I. Growth performance. *Journal of Plant Nutrition*, 16:1705-1716, 1993.

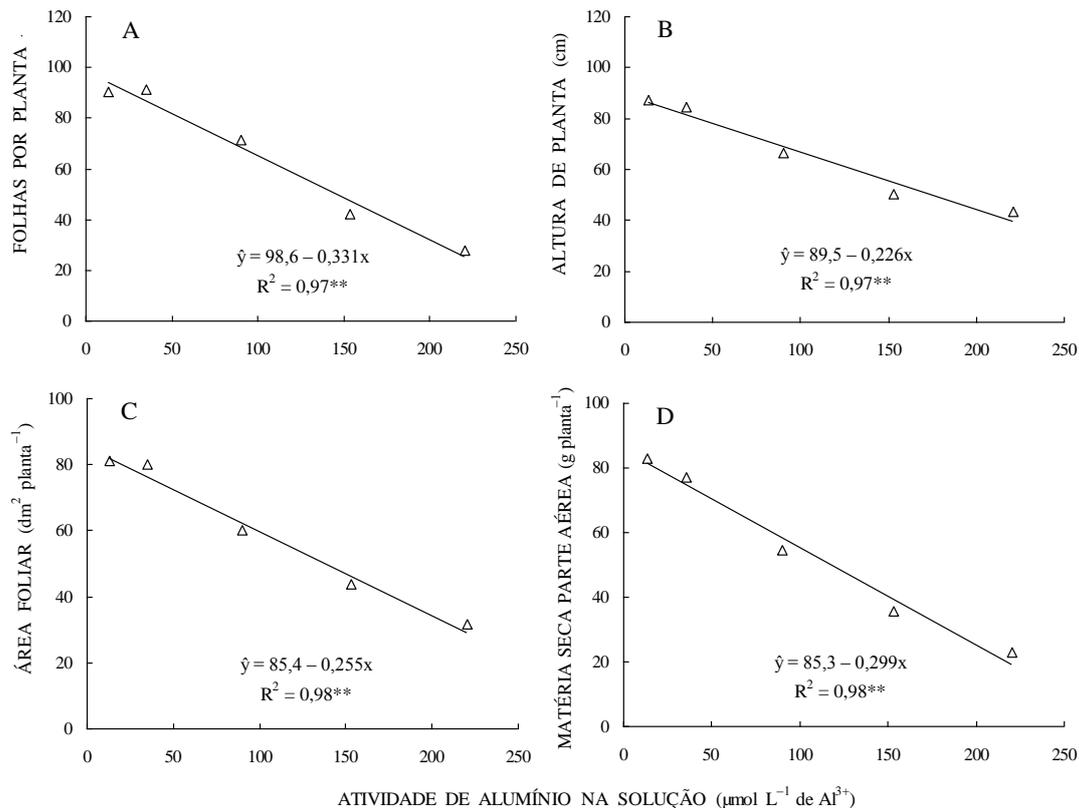


Figura 1. Número de folhas – (A), altura de planta – (B), área foliar – (C), e matéria seca da parte aérea – (D) de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função da atividade de Al^{3+} na solução nutritiva.

Tabela 1. Teor de fósforo, cálcio e magnésio nas folhas e raízes de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), em decorrência da atividade de Al^{3+} na solução nutritiva

Atividade de Al^{3+} $\mu mol L^{-1}$ de Al^{3+}	Teor de Fósforo (P)		Teor de Cálcio (Ca)		Teor de Magnésio (Mg)	
	Folhas	Raízes	Folhas	Raízes	Folhas	Raízes
	g kg^{-1}					
13,3	3,42	5,27	30,31	14,36	7,53	5,56
35,3	2,85	6,71	31,71	12,82	7,14	5,75
90,0	2,26	5,73	28,32	10,75	6,71	5,46
153,3	1,97	5,49	25,06	9,26	5,27	4,12
220,7	1,63	5,58	20,19	8,34	4,58	3,48
Média	2,43	5,76	27,12	11,10	6,25	4,87
Teste F	**	ns	**	**	**	*
Regressão	L	ns	L	L	L	L
CV (%)	9,4	12,6	8,7	9,2	6,4	8,8

ns: não significativo. *: significativo a 5%. **: significativo a 1%. L: regressão linear. Q: regressão quadrática.

Tabela 2. Teor e quantidade de alumínio acumulado nas folhas, caules e raízes de plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), em decorrência da atividade de Al^{3+} na solução nutritiva

Atividade de Al^{3+} $\mu mol L^{-1}$ de Al^{3+}	Teor de Alumínio ($mg kg^{-1}$)			Alumínio acumulado ($mg planta^{-1}$)		
	Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
13,3	46,8	13,5	890	2,35 (7,8) [†]	0,44 (1,5)	27,4 (90,8)
35,3	162,9	60,9	5.728	7,81 (6,7)	1,79 (1,5)	107,4 (91,8)
90,0	199,5	80,5	6.575	7,80 (7,4)	1,62 (1,5)	95,3 (91,0)
153,3	302,9	179,7	7.398	6,92 (6,3)	2,38 (2,2)	100,0 (91,5)
220,7	425,3	316,9	8.521	5,87 (5,1)	2,99 (2,6)	106,5 (92,3)
Média	227,5	130,3	5.822	6,15 (6,4)	1,84 (1,9)	87,3 (91,6)
Teste F	**	**	**	*	**	**
Regressão	L	L	Q	Exp	L	Exp
CV (%)	13,7	11,5	9,6	14,8	11,5	18,5

*: significativo a 5%. **: significativo a 1%. L: regressão linear. Q: regressão quadrática. Exp: regressão exponencial.

[†] Valores entre parênteses representam a porcentagem de Al acumulada em cada parte da planta em relação à quantidade total acumulada na planta.